

## 多変量解析を用いた食品の品質評価(2) - トマトジュース中の香気成分解析 -

No. M311A

川北 祥人、坂本 雄紀

### ユーザーベネフィット

- ◆ ヘッドスペースHS-20のトラップモデルは、水分を含むサンプルでも濃縮して高感度に分析することが可能です。
- ◆ 多変量解析は、サンプル間で差異のある成分を客観的に評価することができます。
- ◆ AnalyzerProは、デコンボリューションから多変量解析まで1つのソフトウェアで完結します。

### ■はじめに

食品の「おいしさ」には、味、食感、香りが重要であることが知られています。加えて、昨今の食品・飲料市場においては、高品質化・高機能化を目的とした商品開発も行われており、他製品との差別化が進められています。

食品素材の品種改良や選定も差別化手法の1つであり、例えば、作物が持つ遺伝的な違いは、香気成分の違いに影響を与えることが知られています。野菜や果実飲料では、香料を使用しない商品でありながら、保健機能食品である商品も販売されており、素材（商品）そのものが持つ差異を評価したいというニーズが高まっています。

M310では、3種類のトマトジュースにおける代謝物の差異解析を行い、味に寄与する成分や機能性成分における製品間の違いを紹介しました。

本稿では、M310と同じ市販品の3種類のトマトジュースを用いて、ヘッドスペース法（HS）による香気成分の分析を行いました。加えてAnalyzerProにより、デコンボリューション及び多変量解析（差異解析）を行った結果を紹介します。

### ■ サンプル調製および分析条件

市販のトマトジュース3種類をサンプルとして用意しました。これらの製品の原材料はトマトのみ、またはトマトと食塩のみで製造されているものを選びました。

香気成分の捕集にはヘッドスペース（HS）を使用しました。ヘッドスペースガスサンプラーHS-20のトラップモデルでは、電子冷却トラップを内蔵しており、香気成分を濃縮して高感度分析をすることが可能です。水分を含むサンプルにおいても、低沸点から高沸点の化合物を濃縮して分析することができます。

トマトジュース5 mLを20 mLヘッドスペースバイアルに採取し、内部標準物質として10 µg/mLのp-ブロモフルオロベンゼン（メタノール）を10 µL添加し分析しました。測定条件を表1に示します。

表1 測定条件

ヘッドスペースガスサンプラー：HS-20	
GC-MS：GCMS-QP™2020 NX	
カラム：SH-PolarWax (Length 30 m, 0.32 mm I.D., df=0.50 µm)*1	
[HS]	
モード：	トラップ
トラップ管：	Tenax™ TA
オープン温度：	40 °C
サンプルライン温度：	90 °C
トランスファーライン温度：	150 °C
トラップ冷却温度：	0 °C
トラップ加熱温度：	220 °C
トラップ待機温度：	0 °C
バイアル攪拌：	2
マルチインジェクション回数：	5 回
バイアル加圧用ガス圧力：	100 kPa
ドライバージ用ガス圧力：	20 kPa
バイアル保温時間：	10 分
バイアル加圧時間：	0.5 分
加圧平衡化時間：	0.1 分
ロード時間：	0.5 分
ロード平衡化時間：	0.1 分
ドライバージ時間：	2 分
注入時間：	3 分
ニードルフラッシュ時間：	5 分
サンプル封入量：	5 mL
[GC]	
キャリアガス：	He
キャリアガス制御：	線速度 (45.0 cm/sec)
注入方法：	スプリット
スプリット比：	10
オープン温度：	40 °C (2 分) => (5 °C / 分) => 200 °C (1 分)
[MS]	
イオン源温度：	200 °C
インターフェース温度：	230 °C
イオン化法：	EI
測定モード：	Scan (m/z 35 ~ 400)
イベント時間：	0.3 秒

\*1 P/N：227-36251-01

### ■ 結果

図1にトマトジュースのTICC(トータルイオンカレントクロマトグラム)を示します。各サンプルからは、アルデヒド類(アセトアルデヒドやペンタナール、フルフラールなど)や、スルフィド類(ジメチルスルフィド、ジメチルジスルフィド、ジメチルトリスルフィド)、フラン類(フラン、2-メチルフラン、2-ペンチルフランなど)、ケトン類(2-ブタノンなど)、テルペン類(D-リモネンやp-シメンなど)等が共通して検出されました。

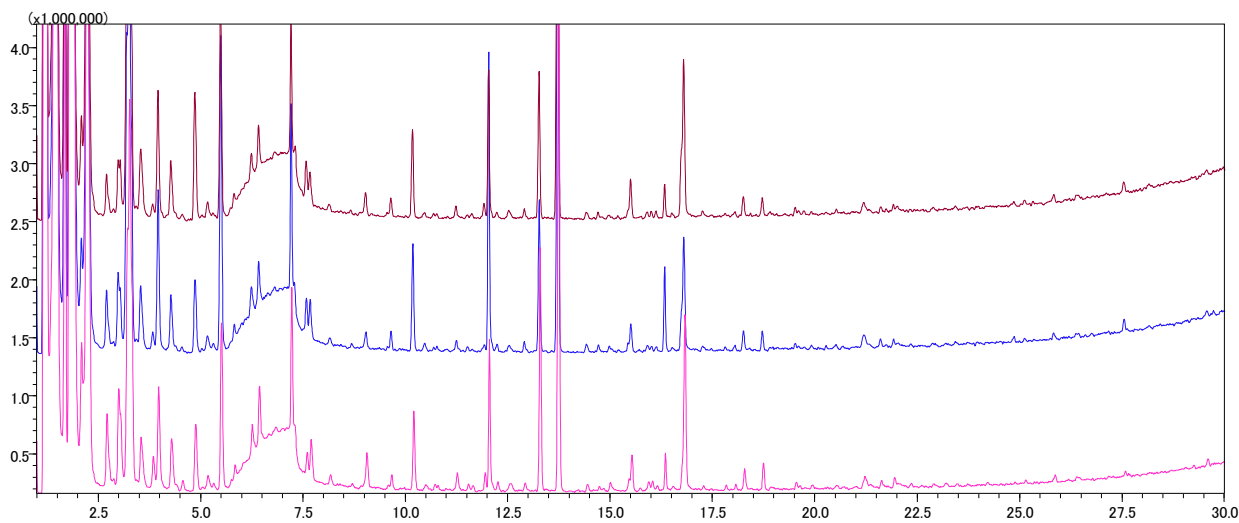


図1 トマトジュースの分析結果 (TIC)  
茶：サンプル1、青：サンプル2、ピンク：サンプル3

### ■多変量解析

AnalyzerPro (SpectralWorks社) は、当社GC-MSで取得したデータの直接読み込みから、デコンボリューション、ピーク検出、ライブラリ検索、アラインメントを行い、サンプル間の差を比較することが出来るソフトウェアです。多変量解析には、主成分分析 (PCA) と、2群間比較用に Volcano Plotを行うことができ、統計的に有意な差のある成分を探索することが可能です。

AnalyzerProによる解析には、各サンプルごとに3回取得したデータを使用し、検出された化合物の強度はp-プロモフルオロベンゼンを内部標準物質として正規化しました。使用したトマトジュースはサンプル1~3としました。サンプル1のみ食塩が添加されており、サンプル3は品種を特長として販売されているプレミアム系商品でした。

3種類のトマトジュースから得られた結果を用いて主成分分析 (Principal Component Analysis : PCA) を行いました。主成分分析には、少なくとも1つのサンプルにおいて、必ず検出された成分を利用することを条件として解析を行いました。主成分分析のScore Plot (図3) 及びLoading Plot (図4) の結果をそれぞれ示します。第一主成分 (横軸) が58.5%、第二主成分が (縦軸) 16.2%であり、各サンプルは明確に分離していることから、それぞれのサンプルは区別できることが確認されました。

Loading Plotにおいて第一主成分が正の成分は、サンプル3に多く含まれる傾向にあり、第一主成分が負の成分ではサンプル1と2に多い傾向にあります。正の成分に着目すると、サンプル3ではフラン類やテルペン類など、多くの成分が他の2つのサンプルよりも多く含まれている傾向にあることが示唆されました。負の成分については、Benzyl nitrileなどが確認されました。

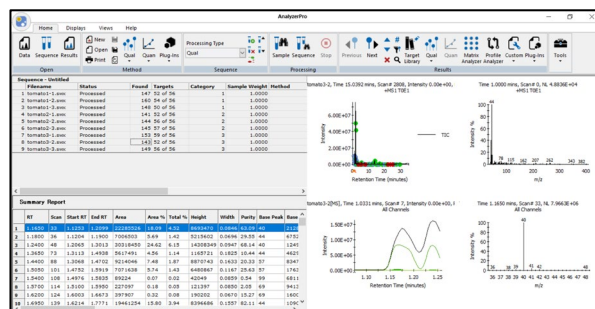


図2 AnalyzerPro (Ver. 6.0) の解析画面

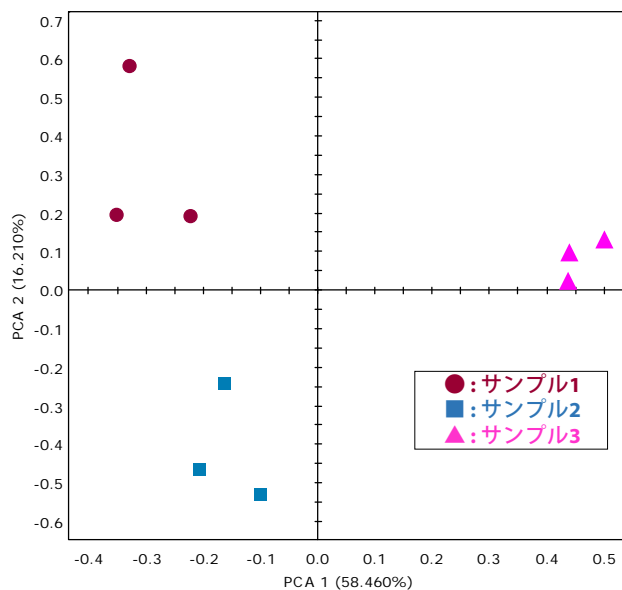


図3 主成分分析 (PCA) Score Plot

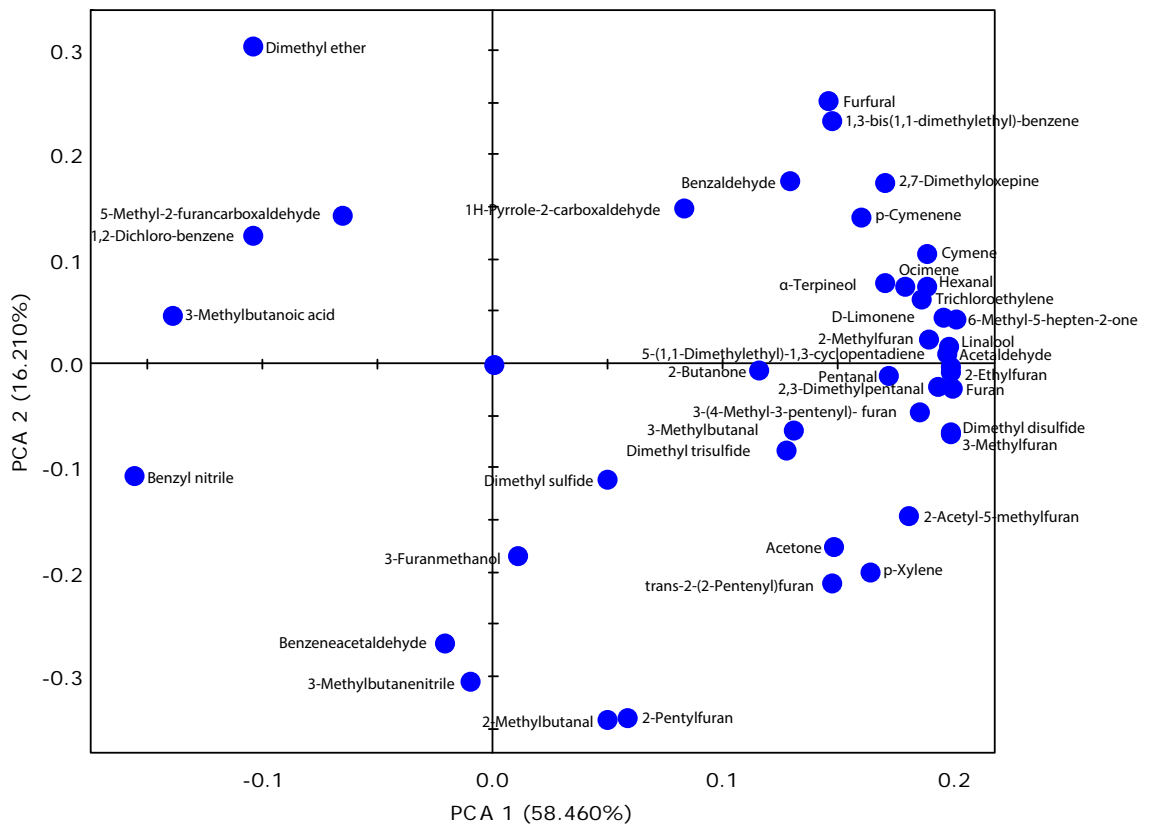


図4 主成分分析 (PCA) Loading Plot

Loading Plotでは、サンプル3の影響が強く出ているため、それぞれのサンプルの差を詳細に確認するために、Volcano Plotによる2群比較を行いました。Volcano Plotでは、各サンプルの平均面積値の除算とt検定により、差が大きくかつ統計的に有意な差がある成分を見つけることが出来ます。

まず、主成分分析の第一主成分では共に負に分布したサンプル1とサンプル2の比較を行った結果を示します (図5)。

緑色のプロットはp-value < 0.05の成分で、灰色でプロットされているものは、p-value > 0.05の成分です。

p > 0.05から、アルデヒド類やテルペン類を始めとした多くの成分に有意な差があまりないことが示唆されました。

p < 0.05の成分は甘い香りを有するフラン類で、それらはサンプル2に多い傾向が示唆されましたが、顕著な差は見られませんでした。

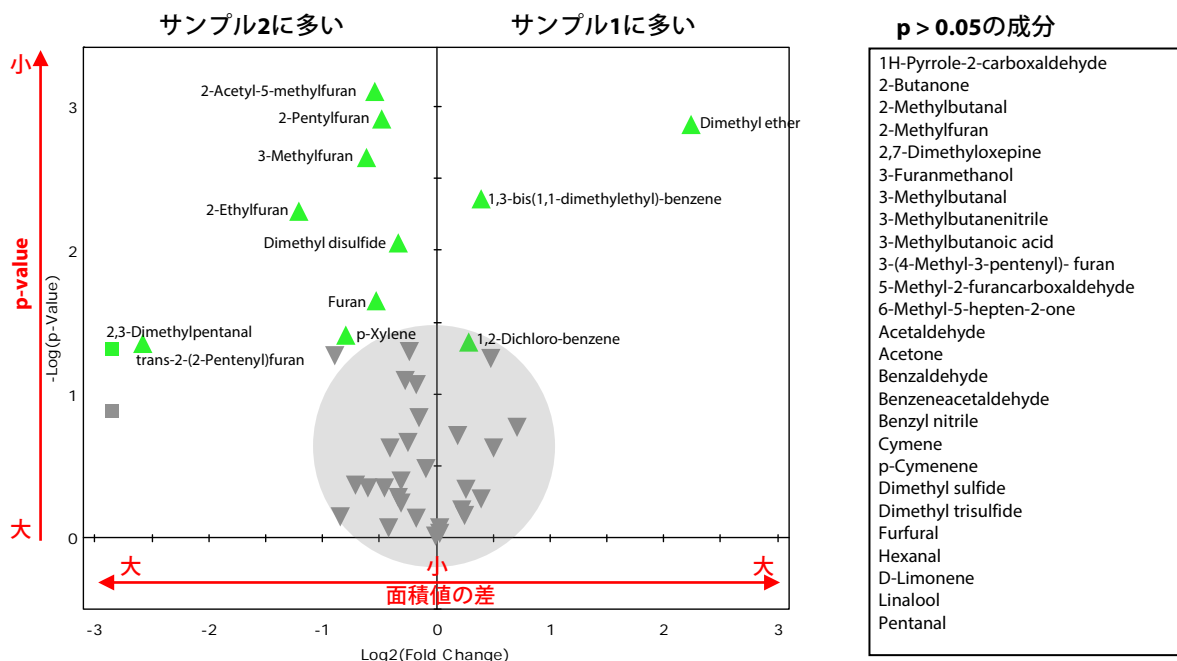
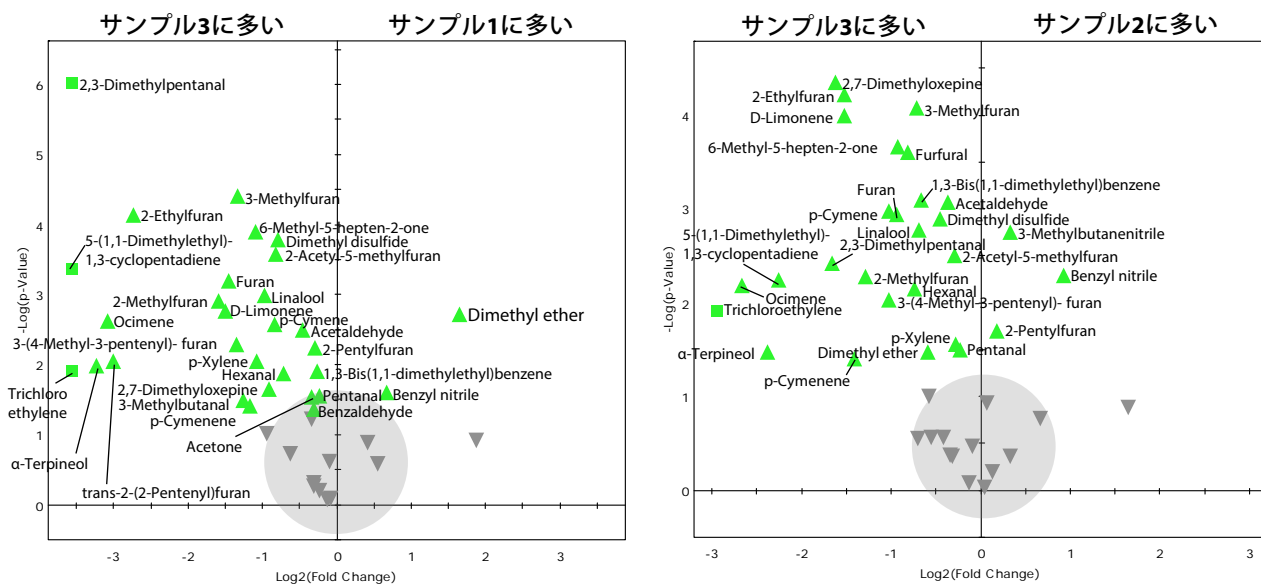


図5 Volcano Plotによる2群比較 (サンプル1と2)  
(緑色 : p<0.05、灰色 : p>0.05、△, ▽ : 両方のサンプルに含まれる。□ : 一方のサンプルに含まれる。)



**p > 0.05の成分**

1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde	Benzeneacetaldehyde
1,2-Dichloro-benzene	Dimethyl sulfide
2-Methylbutanal	Dimethyl trisulfide
2-Butanone	3-Methylbutanenitrile
3-Methylbutanoic acid	Furfural
3-Furanmethanol	
5-Methyl-2-furancarboxaldehyde	

**p > 0.05の成分**

1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde	Benzeneacetaldehyde
1,2-Dichloro-benzene	Dimethyl sulfide
2-Methylbutanal	Dimethyl trisulfide
2-Butanone	3-Methylbutanal
3-Methylbutanoic acid	Acetone
3-Furanmethanol	Benzaldehyde
5-Methyl-2-furancarboxaldehyde	trans-2-(2-Pentenyl)furan

図6 Volcano Plotによる2群比較  
 左：サンプル1とサンプル3の比較。右：サンプル2とサンプル3の比較  
 (緑色：p<0.05、灰色：p>0.05、△、▽：両方のサンプルに含まれる。□：一方のサンプルに含まれる。)

またサンプル1と3及び、サンプル2と3を比較した結果を図6に示します。主成分分析の結果と同じく、サンプル3は多くの成分が他の2つのサンプルよりも多く含まれている傾向にあることが示唆されました。p < 0.05の成分のうち、面積値の差が大きい成分に着目すると、D-Limoneneを始めとしたモノテルペン類やフラン類が多く含まれている傾向にありました。モノテルペン類は香り立ちであるトップノートで、印象の強い爽やかな香りに寄与することが知られています。

**■まとめ**

HSによる香気成分の捕集と、AnalyzerProによるノンターゲットな多変量解析により、トマトジュースの製品間で特徴的な成分を探索することが出来ました。品種・製造方法の違いが香気成分に与える影響について客観的に評価することができます。

GCMS、GCMS-QPは、株式会社島津製作所またはその関係会社の日本およびその他の国における商標です。  
 AnalyzerProはSpectralWorks Ltd.の日本およびその他の国における商標です。  
 TenaxはBuchem B.V.の商標です。